

우리가 할 수 있는 가장 아름다운 경험은 신비(神秘)이다.

참된 예술과 참된 과학은 바로 이 신비로움을 느끼는 데서부터 시작된다.

신비스러움을 느끼지 못하거나 경탄할 줄 모른다면

그 누구라 하더라도 시체와 다를 바가 없으며, 그 사람의 눈은 어두운 것이다.

_아인슈타인



1

힘과 운동

Force and Motion

우리가 살고 있는 세계는 운동하는 것들로 가득 차 있다. 따라서 운동하는 물체가 ‘왜’, ‘어떻게’ 운동하는지 알고 싶다는 것은 인간이 지닌 원초적 호기심이며 욕구라 볼 수 있다. 지금부터 물질세계가 무엇으로 구성되고, 힘을 받는 물체는 어떤 운동을 하는지 등을 알아보는 것으로, 오묘하고 신비로운 물질세계로의 여행을 떠나보자.

CHAPTER 01 우리 물질세계

CHAPTER 02 운동의 기술

CHAPTER 03 특수상대성이론

CHAPTER 04 힘과 운동

CHAPTER 05 공간에서의 운동

01 우리 물질세계

Our Material World

1.1 매우 큰 스케일의 세계

1.2 매우 작은 스케일의 세계

1.3 물리학이란 무엇인가?

1.1 매우 큰 스케일의 세계

“우리가 겪을 수 있는 가장 아름다운 경험은 바로 신비로움이다. 그것이야말로 진정한 예술과 과학이 시작되는 요람의 역할을 하는 근본적인 감성이다. 그 신비로움을 모른다거나, 더 이상 호기심을 느끼지 못하거나 경탄하지 못한다면 그는 죽은 것이나 마찬가지이며, 그의 눈은 장님이나 다름없다.”

이 글은 아인슈타인이 1931년 잡지에 기고한 글 중 한 부분으로, 그가 느낀 자연의 신비로움이 얼마나 강렬했는지 보여준다.

물질세계에 대한 호기심을 바탕으로 자연 세계의 신비로움을 탐구하는 학문인 과학은 아마도 하늘의 별을 보는 것으로부터 시작되었을 것이다. 해나 달을 포함하여 밤하늘에 보이는 수많은 별은 태초부터 인간에게 끝없는 호기심과 경외심의 원천이었다. 옛사람들은 별을 관찰하여 점성술을 만들고, 그것으로 미래를 예측해보기도 했다.

지금부터 수백 년 전까지만 해도 천체와 우주에 대한 인간의 인식은 매우 단순한 수준에 머물러 있었다. 즉 인간이 사는 무한히 평평한 대지가 우주의 중심이며, 태양을 포함한 모든 천체가 지구를 중심으로 돈다고 생각했던 것이다. 그러나 15세기에 이르러 케플러와 갈릴레오와 같은 과학자들이 등장하면서, 인간은 서서히 우주와 우리의 관계를 깨닫기 시작했다. 즉 지구가 우주의 중심이 아니며, 단지 우주에 존재하는 수많은 별 중의 하나인 태양이라는 별의 주위를 도는 행성¹임을 깨닫게 되었던 것이다. 그러한 사실을 깨닫고 난 후, 인간이 우주를 인식하고 이해하는 수준이나 능력은 급속도로 변화하기 시작했다.

¹ 행성(planet) 또는 떠돌이별이라고도 하는데, 일본어에서 온용어인 ‘혹성’이라고 하는 경우도 있지만, 이는 표준어는 아니다.

과학에서 별 star은 항성이라고도 하며, 스스로 빛을 내는 천체를 뜻한다. 물론 태양 같은 별들도 언젠가는 죽어서 빛을 내지 못하게 될 수도 있다. 별은 그 삶의 마지막 단계에 이르면 대부분 폭발하면서 블랙홀 black hole 같은 특이한 상태의 천체가 되는 것으로 알려져 있다. 반면 행성은 스스로 빛을 내지 못하면서 항성 주위를 도는 천체를 뜻한다. 태양계는 별이라 부를 수 있는 태양과 그 태양에 속해 있는 지구나 금성, 목성 같은 행성들로 이루어져 있다. 한편, 지구와 같은 행성에 속한 달과 같은 천체는 위성 satellite이라고 한다.

태양은 10개 가량의 행성을 거느리며, 은하계 galaxy라고 하는 수많은 별의 집단에 속한 하나의 별에 불과하다. 은하계를 이루는 수많은 별은 한 중심점을 기준으로 회전 운동을 하는 원판 모양을 이루며, 자신과 비슷한 다른 은하계와 서로 어울려 은하단 galaxy cluster을 이루고 있다. 은하단을 이루는 은하계들은 서로 매우 멀리 떨어져 있는데, 그 은하계들도 모두 자신이 속한 은하단의 중심점을 기준으로 회전 운동을 한다. 한편, 그런 은하단들이 모여 또다시 초은하단이라는 거대 집단을 이루는데, 이처럼 우주는 마치 끝이 없는 것처럼 계속 펼쳐져 있는 것이다.

그림 1-1 은하게 상상도



천체의 스케일

천체계의 스케일은 우리가 보통 생각하는 것과는 매우 다르다. 예컨대, 태양과 그것이 거느린 행성 간의 거리를 잠시 생각해보면, 교과서에 실려 있던 그림들이 실제 태양계를 얼마나 개략적으로 나타냈는지 알게 될 것이다. 태양을 지름이 1m인 공에 비유한다면, 지구는 그 공에서 얼마 만큼 떨어진 큰 물체로 비유할 수 있을까? 이 경우, 지구는 태양으로부터 약 200m 떨어진 곳에 있는, 지름이 약 1cm인 공으로 비유할 수 있다. 지구가 그렇게 작고, 태양으로부터 그렇게 멀리 떨어졌다는 사실을 여러분은 처음 인식했을 수도 있다. 그리고 교과서에서 태양계 모양을 실제 스케일대로 그리지 못한 이유도 이제 이해할 수 있을 것이다.

지구가 태양으로부터 200m 떨어져 있다고 할 때, 태양계의 가장자리를 도는 명왕성 Pluto은 10km 정도 떨어진 곳에 있고,² 태양과 가장 가까운 별은 태양으로부터 약 100,000km나 떨어져 있다. 우리는 이런 방대한 스케일에 놀라지 않을 수 없다. 이 거리는 태양계의 크기(만약 명왕성을 태양계에 포함시킨다면)를 1이라 할 때, 10,000에 해당하는 거리로서, 태양같은 별들은 서로 만나거나 가까워질 가능성이 거의 없을 정도로 매우 멀리 떨어져 있다는 의미다. 즉 우주는 마치 텅 비어 있는 공간에 드문드문 먼지가 있는 꼴로 비유할 수 있다.

또한 지구 표면을 얇게 덮고 있는 ‘지각(땅껍질)’의 두께를 나타내는 스케일에 대

² 명왕성은 지금까지 태양계의 최외곽 행성이라고 알려졌지만, 최근 천문학계에서 명왕성은 태양계에 속한 행성이 아니라고 발표했다.

해서도 잘못된 인식을 갖고 있는 경우가 많다. 에베레스트 산은 매우 높지만, 그 높이를 지구 반지름에 대한 비율로 나타내면 겨우 $\frac{1}{700}$ 도 안 된다. 지구 반지름이 6,400km 정도인데, 에베레스트의 높이는 겨우 9km 정도이기 때문이다. 마찬가지로 가장 깊은 바다 깊이를 지구 반지름에 대한 비율로 나타낼 때도 매우 작은 값이 된다. 따라서 우리가 보기에 지표면이 아무리 험하다 해도 지구를 커다란 공에 비유한다면 표면이 아주 매끈한 공과 같다는 것을 알 수 있다.

3 이런 경우 입체각이 같다고 말한다.

■ **물음 1-1** 우리가 보는 달과 태양은 크기가 비슷하게 보인다.³ 태양이 달보다 훨씬 크지만, 달보다 더 멀리 떨어져 있어서 그렇게 보일 뿐이다. 실제로 달까지의 거리는 지구 반지름의 약 60배고, 태양까지의 거리는 약 23,450배다.

(a) 이로부터 추정되는 태양의 반지름은 달의 반지름의 몇 배인가?

(b) 태양이 달과 같은 물질로 구성되어 있다고 가정하면(실제로는 그렇지 않다), 태양의 질량은 달의 질량의 몇 배인가?

1.2 매우 작은 스케일의 세계

원자의 세계

우리 세계에는 매우 다양한 종류의 물질과 물체가 있다. 예를 들어 주위를 둘러보면 물, 나무, 흙, 공기 등 여러 가지 것들이 있다. 그렇다면 이 모든 것들에 어떤 공통점이 있을까? 인간은 예로부터 모든 물질을 이루는 기본 단위가 존재한다고 생각해왔고, 그 기본 단위를 원자^{atom}라고 명명했다.⁴ 그런 생각은 과학적으로 확인되었는데, 모든 물질은 단지 100가지 정도의 원자로 이루어져 있다는 사실이 밝혀졌다. 돌덩이, 나무토막, 우리의 몸과 같은 물질이 100가지 정도의 기본 원자로 만들어져 있다는 사실은 매우 놀라운 발견이었다.

원자가 물질의 기본 단위라는 것은 틀림없는 사실이다. 그러나 과연 원자가 참으로 더는 자를 수 없는 마지막 물질 단위일까? 사실 원자 자체도 양전하를 가진 핵과 음전하를 가진 전자로 이루어져 있음이 알려지게 되었다. 또한 핵도 양성자와 중성자라는 더 기본적인 입자로 이루어진 사실도 차차 알려지게 되었다.

따라서 우리는, 물질세계가 단지 세 가지 기본 입자인 양성자와 중성자, 전자로만 들어진 것으로 생각할 수도 있다. 그러나 우리 물질세계에서는 수많은 다른 입자들도 만들어졌다가 사라지기를 반복한다. 그런 입자들은 수명이 매우 짧다. 그에 반해 양성자와 중성자, 전자는 사실상 영원히 존재하는 안정된 입자들이므로, 이와

4 atom이란 ‘terminate’라는 단어에 부정을 나타내는 접두사 ‘a’가 붙어 ‘더는 절리지 않는 것’이라는 뜻을 갖는다.

같은 세 가지 기본 입자들이 물질을 구성하고 있다고 봐도 좋다.

우주와 같은 거대한 스케일의 세계가 우리가 보통 생각해 오던 것과 다른 것처럼, 미시적 세계의 스케일도 마찬가지다. 원자의 크기는 보통 10^{-10}m 의 단위로 나타내는데, 이 크기는 $1/10\text{nm}$ (나노미터)로 나타내기도 한다.⁵ 한편, 원자핵의 일반적 크기는 10^{-15}m 정도이므로 원자핵의 크기를 1m 라 가정한다면, 원자의 크기는 $100,000\text{m}$ 에 해당된다. 태양의 지름에 대한 태양계의 크기와 원자핵의 지름에 대한 원자의 크기의 비가 비슷하다는 점은, 비록 둘 사이에 아무런 관계가 없더라도 상당히 흥미롭다.

■ **물음 1-2** 원자핵 반지름이 원자 반지름의 10^{-5} 일 때, 핵의 부피는 원자 부피의 몇 배인가?

우리가 경험할 수 있으며, 우리에게 익숙한 공간 세계를 ‘중간계’라고 이름을 붙여 보자. 원자 스케일의 ‘미시적 세계’나 우주 스케일의 ‘광대한 세계’는 우선 그 크기 조차 가늠하기 어려운, 신비로움으로 가득 찬 세계다. 즉 아주 크거나 아주 작은 극한 스케일에서는 ‘중간계’에서 상상할 수 없는 신비로운 세계가 펼쳐져 있는 것이다.

표 1-1 거리 스케일(단위 : m)

공간계	거리
우주 경계	150억 광년^6
가까운 다른 은하계	$10^{23}(220\text{만 광년})$
우리 은하계 중심	$10^{20}(10\text{만 광년})$
태양과 가장 가까운 별	$10^{17}(4\text{광년})$
태양계 크기	10^{13}
태양까지의 거리	1.5×10^{11}
달까지의 거리	3.8×10^8
에베레스트 산의 높이	10^4
인간의 크기	1
바이러스 크기	10^{-7}
원자 크기	10^{-10}
원자핵 크기	10^{-15}

표 1-2 시간 스케일(단위 : s)

시간계	시간
우주의 나이	$10^{18}(150\text{억년})$
인간 출현	$10^{14}(100\text{만년})$
인간 수명	$10^9(100\text{년})$
1일	10^5
심장박동 주기	1
음파 주기	10^{-3}
라디오파 주기	10^{-6}
분자 회전 주기	10^{-12}
(빛의) 원자 통과 시간	10^{-18}

5 옹스트롱(Å : Angstrom)이라는 길이 단위도 가끔 쓰이는 데, $1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$ 로 정의하며, 이 단위는 원자의 크기를 나타내는 척도로 오래 전부터 사용되어 왔다.

6 1광년이란 빛이 1년 동안 진행한 거리를 뜻한다.

■ **물음 1-3** 공이나 책과 같이 우리가 주위에서 보는 물체의 크기는 1cm , 1m 등과 같이 미터 단위로 측정할 수 있다. 우리가 주위에서 볼 수 있는 물체는 원자가 몇 개나 모여서 이루어진 것인지 짐작해보자.

- (a) 정육면체 모양의 물체의 한 변의 길이를 0.1m 라 가정하면, 그 부피는 얼마인가?
- (b) 원자의 지름은 10^{-10}m 이다. 원자를 한 변의 길이가 10^{-10}m 인 정육면체로 본다면, 원자를 차곡차곡 쌓아 (a)의 물체를 이루었을 때 물체 속 원자 개수는 몇 개인가?

참고 걸리버의 소인국 이야기

영국의 작가 스위프트가 쓴 소설 「걸리버 여행기」에는 보통 사람보다 아주 작은 사람들이 사는 소인국 이야기가 나온다. 문학 소설을 반드시 과학적 근거에 기초해 쓸 필요는 없지만, 작가는 그러한 이야기가 과학적으로 얼마나 합리적인가에 대해 고려해보지는 않았을 것이다.

그러나 평범한 인간을 $\frac{1}{10}$ 크기로 축소한 소인국이나 10배로 확대한 거인국이 있다고 가정할 때, 그들의 세계는 우리 세계와는 매우 다를 것이다. 다음의 예를 생각해보자. 인간의 키와 발바닥 넓이를 조사한 자료가 있다고 하자. 어떤 사람보다 키가 2배로 큰 사람의 발바닥 평균 넓이는 대략 몇 배 정도일까? 길이가 2배가 되면 넓이는 4배가 된다는 평범한 수학적 사실에 근거하여 이 문제를 다뤄보자. 이 경우, 보통 사람을 그대로 확대하여 키가 2배가 되도록 하면 몸을 지탱하는 발바닥의 넓이와 다리뼈의 굵기는 4배가 되어야 할 것이다. 왜냐하면, 넓이는 길이의 제곱에 비례하기 때문이다.

그러나 이러한 분석은 수학적으로는 옳으나 물리적으로는 옳지 않다. 그 이유는 우리가 중력의 영향을 받으며 살고 있기 때문이다. 다리는 몸무게를 지탱하는 역할을 하며, 특별히 단단한 뼈가 아닌 한, 같은 단면적의 뼈가 지탱할 수 있는 무게는 같다. 따라서 키가 두 배로 되면 몸의 부피는 8배로 늘어

나므로, 8배로 늘어난 몸무게를 지탱하기 위해서는 발바닥 넓이나 다리뼈의 굵기도 8배가 되어야 한다.

우리 세계에 존재하는 육지 동물 중 가장 큰 코끼리의 다리둘레를 보면, 코끼리의 몸집이 커짐에 따라 보기에 이상할 정도로 다리가 굵어지는 것을 볼 수 있는데, 바로 이런 이유 때문이다. 이러한 고찰을 처음으로 했던 사람이 바로 갈릴레오인데, 그는 아주 단순해 보이는 사실 속에 내포된 과학적 모순을 깨달았던 것이다.

우리는 모두 우리가 경험하거나 볼 수 있는 현상들을 통해 자연 세계를 인식한다. 그러나 물리학이 다루는 시간과 공간 스케일의 세계는 우리의 경험만으로는 이해할 수 없는 부분이 있으므로 걸리버 이야기에서와 같이 과학적으로 모순되는 문제가 생겨날 수 있다.



출처 : <http://www.zimbio.com>

원자의 질량

원자의 질량은 너무 작아서 저울로는 측정할 수 없다. 원자 세계의 질량은 원자 단위로 나타내는데, 국제단위계^{SI}라고 하는 단위계에서 1원자 단위는 1u(unit)로 나타내고, 양성자와 중성자를 더한 수가 12인 탄소 원자핵의 질량을 12u로 정한다. 예컨대, 양성자 하나와 전자 하나로 이루어진 수소 원자의 질량은 약 1u가 된다.⁷

물질의 양을 나타내는 거시적 단위는 화학에서 더 많이 쓰이는 단위인 몰^{mol}이다. 어떤 물질 1몰이란, 그 물질을 이루는 분자의 분자량이 M이라 할 때, M그램(g) 만큼의 양을 나타낸다. 예를 들어 수소 원자 2개가 결합해 이루어진 수소 분자의 분자량은 2u이므로, 수소 1몰이란 수소 2g을 뜻한다.

흥미로운 사실은, 어떤 물질이든 그 물질의 1몰은 아보가드로수 Avogadro's number 만큼의 원자로 이루어진다는 점이다. 아보가드로수는 약 6×10^{23} 크기의 수로, 거의 '1조의 1조 배'에 해당하는 엄청난 크기의 수로, 연필이나 지우개, 우리 몸과 같은 물체는 1조의 1조 배에 해당하는 엄청난 수의 원자가 모여 이루어진 것이라 생각할 수 있다.

7 전자의 질량은 양성자 질량의 약 1/2,000 정도밖에 되지 않는다. 따라서 원자의 질량을 다룰 때는 전자의 질량은 무시해도 좋다.

물음 1-4 인체는 약 10^{15} 개의 세포로 이루어져 있다고 한다. 인체를 이루는 원자의 개수가 10^{27} 개라면 세포 하나는 약 몇 개의 원자로 이루어져 있는가?

분자의 세계

물질이 원자로 이루어졌음을 알게 된 일은 과학의 위대한 성취였다. 그러나 잠시 생각해보면, 우리는 곧 ‘그 원자들은 왜 서로 덩어리를 이루는가?’라는 의문을 갖게 될 것이다. 즉 나무토막 하나는 수많은 원자가 서로 연결된 덩어리인데, 무슨 이유로 그 원자들이 한 덩어리가 된 채로 유지되는가 하는 점이다. 이러한 현상은 바로 원자가 전기를 띤 입자들로 이루어져 있기 때문에 비롯된 것이다. 즉 원자의 전기적 특성 때문에 원자들 사이에 서로 당기는 힘이 생기는 것인데, 그 원인에 대해서는 앞으로 차차 살펴보기로 하자.

자연 세계는 음악의 세계에 비유할 수 있다. 예를 들어 피아노로 낼 수 있는 소리는 수십 가지 정도밖에 되지 않는다. 하지만 작곡가는 수십여 가지 음들을 토대로 무한히 많은, 새로운 곡을 ‘창조’ 할 수 있다. 작곡가가 아름다운 곡을 작곡하듯이, 자연 세계도 100여 가지의 원자를 가지고 수많은 물질을 만들어낸다.

원자는 종류에 따라 다른 특성을 띈다. 예컨대, 헬륨(He)이나 네온(Ne) 같은 원자는 다른 원자와 결합하기를 좋아하지 않는다. 그러나 원자 대부분은 서로 결합하여 덩어리가 되고자 하는 성질을 띠고, 그 덩어리는 대개 결합한 채로 유지된다. 우리 주위에 있는 대부분의 물질은 거의 모두 그렇게 뭉친 덩어리를 단위로 이루어져 있으며, 그런 원자 덩어리를 **분자**라고 한다. 예컨대, 대기를 이루고 있는 공기는 주로 질소와 산소로 이루어져 있는데, 질소나 산소들은 두 개의 원자가 쌍을 이루어 만든 분자 상태로 존재한다. 그러나 일반적으로 분자들은 많은 수의 원자들로 이루어지며, 각 분자마다 독특한 자신만의 구조를 갖는다.⁸

한편, 자연이 만들어낸 분자 중에는 매우 흥미로운 것들도 있다. 예컨대, 나무토막이나 고무같이 생명체에게서 온 물체들은 **폴리머** polymer라고 하는 매우 긴 사슬 모양의 거대한 분자로 이루어져 있다. 일반적으로 생명체를 이루는 분자들은 매우 복잡한 구조를 가진 거대한 분자들인데, 대부분은 탄소(C) 원자를 포함하며, 흔히 **유기 분자** organic molecule라고 한다. 대표적인 유기물 분자로는 단백질, 지방, 효소, 아미노산, 혜모글로빈 등이 있다.

우리 세계를 이루는 물질 분자에는 물 분자와 같이 자연이 스스로 만들어내는 것도 있고, 원래 자연 속에는 존재하지 않았지만 인간이 인위적으로 만들어낸, 인공 감미료 분자 같은 것도 있다. 원자들을 결합하여 화합물을 만들거나 그 화합물의 성

그림 1-2 분자



출처 : <http://www.3dchem.com>

8 예를 들어 물은 수소원자 두 개와 산소원자 하나가 특정한 구조로 결합한 상태의 분자 (H_2O)들로 이루어져 있다.

9 Alfred Bernhard Nobel,
1833~1896



질에 관심을 두는 분야를 **화학** Chemistry이라고 한다. 즉 화학자는 자연 속에 이미 존재하는 분자의 특성이나 또는 지금까지 존재하지 않았던 새로운 분자를 합성하여 그 분자들에 어떤 흥미로운 특성이 있는지에 관심을 둔다. 예컨대, 의약품 화합물인 아스피린이나 스웨덴의 **노벨**⁹이 처음 발견한 강력한 폭발력이 있는 화합물인 **티엔** T| Tri-Nitro Toluene 등은 인류 문명에 큰 변화를 가져온 화합물들이다.

한편, 화합물 분자가 매우 정교하며 복잡한 성질을 띠는 유기 분자라면 그 분자들은 생명 현상의 원인이 될 수도 있다. 유기 분자에서 발현되는 신비로운 생명 현상에 관심을 두는 분야를 **생물학** Biology이라고 한다. 유기 분자의 특성을 이해하기는 매우 어렵지만, 그 특성을 알아냈다고 해도 그 분자 간의 복잡한 상호작용으로 인한 생명 현상을 이해하는 것은 또 다른 문제다. 따라서 우리는 생명 현상을 신비로운 영역에 둘 수밖에 없다. 물질세계가 어떤 과정을 거쳐 이렇게 정교하고 복잡한 유기 분자를 만들어낼 수 있었는지 이해하기는 어렵다. 그러나 태양계 안에서 그런 분자들이 만들어졌고, 그런 분자들로부터 생명체가 생겨나 우리가 존재하게 된 것이다.

참고 생명의 정의

생명체는 너무나 신비로워서 생명체가 무엇인지조차 정의하기 어려운 존재다. 무엇을 생명체라고 말할 수 있는지에 대해 여러 가지 정의가 제안되었다. 생명체의 정의로 잘 알려진 3가지 대표적 정의는 다음과 같다.

- ① 자체 복제를 할 수 있는 존재 ② 대사 작용을 하는 존재 ③ 호흡 작용을 하는 존재

사실, 이 중 어떤 것도 생명체의 과학적 정의로는 적합하지 않다. 각각의 정의에 대해 예외가 되는 생명 현상이 존재하기 때문이다. 무엇이 생명 현상인지조차 과학적으로 정의할 수 없다는 사실은 생명체를 더욱 신비롭게 만든다.¹⁰

10 생명에 관한 새로운 관점에 관심이 있다면 『삶과 온생명』(솔출판사, 2001)을 참고하기 바란다.

1.3 물리학이란 무엇인가?

그렇다면 **물리학** Physics은 어떤 학문인가? 물리학은 물질을 이루는 가장 기본 단위 입자에서부터 천체에 이르기까지 물질세계 속의 모든 것들에 관한 학문이다. 이처럼 물리학의 대상은 물질세계 전체에 대한 것이므로, 원론적으로는 화학과 생물학을 포괄하는 학문이라 할 수 있다. 또한 우리 생활에 직접적으로 영향을 주는 문제들을 다루는 **공학** Engineering도 물리학의 영역에 속한다고 할 수 있다.

큰 스케일에서 보면 모든 물질세계가 물리학의 대상이지만, 화학이나 생물학 또는 그 응용과학인 공학 같은 학문 분야가 따로 존재하는 이유는, 그런 학문이 우리 생

활에 직접적으로 많은 영향을 주기 때문이다. 또한 그 분야들이 우리가 쉽게 이해하기 어려운, 복잡한 그 나름의 자체 세계를 가지고 있기 때문이다.

서양에서 출발한 현대 과학은 광범위한 대상을 작은 단위로 나누어 다루는 분석적 방법을 택하는 특징이 있다. 예컨대, 현대 과학은 물질을 이루는 근원이 되는 입자가 있다고 가정하고, 그런 입자들에 관심을 둔다. 따라서 광범위한 자연 현상을 다루려면 현대 과학은 필연적으로 세분화·전문화될 수밖에 없게 된다. 따라서 특정 분야의 과학자는 자신이 연구하는 아주 좁은 영역에서만 전문가일 뿐이며, 전체적인 자연 현상을 이해하기가 더욱 어려워지게 된다.

또한, 최근에 이르러 많은 과학자들은 이와 같은 분석적 방법으로는 자연 현상을 궁극적으로 이해할 수 없을 것이라는 생각을 하기 시작했다. 그런 이유로, 오늘날 현대 과학은 물리학, 화학, 생물학의 경계가 명백하지 않은 통합 학문의 방향을 추구하기도 한다. 예를 들어 물리학의 양자론적인 접근 방법을 통해 화학을 다루기도 하고, 물리학의 전기나 자기적인 이해를 통한 방법으로 생물학을 다루기도 한다. 그러므로 현대 과학은 물리학, 화학, 생물학의 통합적 이해가 있어야 하는 단계에 와 있다고도 볼 수 있다.

물리학의 한계

물리학은 ‘자연 현상의 예측’을 목표로 삼고 있지만, 현재의 물리학 수준으로는 생명 현상을 설명하거나 이해할 수 없다. 왜냐하면, 물리학은 인간의 행동은커녕 가장 단순한 생명체인 바이러스 virus나 박테리아 또는 굼벵이의 행동조차 예측할 수 없기 때문이다. 특히 바이러스는 생명체라고 부를 수 있는지 없는지조차 말할 수 없는 존재다. 이 사실은 어떤 존재를 생명체로 명쾌하게 정의하기가 어렵다는 것을 의미한다.

“무엇을 생명체라고 정의할 수 있는가?”라는 질문에 대해 필자는 생명체를 ‘자신의 정신세계를 가진 존재’라고 정의하고 싶다. 예컨대, 인간뿐만 아니라 바이러스나 박테리아 같은 존재는 생존을 위해 본능이나 자신의 의지에 따라 스스로 판단하고 행동하는 것처럼 보이기 때문이다.

인간의 정신세계 속에는 경제학, 심리학, 철학, 문학, 법학, 신학 등과 같은 인문 사회과학의 모든 분야가 포함된다. 그런 정신세계는 물질세계로부터 생겨났지만, 물리학의 범주를 벗어난다. 정신세계를 현재의 물리학 범주에 포함하지 못하는 이유는 명백한데, 그것은 정신세계에서 다루는 사랑이나 증오 같은 심리적인 양들을 객관적으로 측정하여 다룰 방법이 없기 때문이다. 그런 한계에도 불구하고, 물리학의

궁극적 목표는 생명체를 포함하는 자연의 기본 현상을 이해하는 것이다.

물론 생명 현상과 그 정신세계는 이해하기 어려운 것이다. 그러나 그런 생명체 세계가 아닌 단순한 물질세계 안에서조차도 자연의 기본 현상을 이해한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 예컨대, 이 책의 마지막 부분에서 다룰 현대 양자론의 입장을 따르면, 단순한 물질세계조차도 그 **실체**^{reality} 자체를 우리에게 보여주지 않는 것이 우리 물질세계의 본성인지도 모른다. 양자론에 의하면, 우리는 객관적 관측자로서 자연 세계의 실체를 파악할 수 없는, 단지 자연 현상을 예측하는 단계에 머무는 존재로 생각되고 있기 때문이다. 즉 현대 양자론은 어떤 경우에도 우리에게 ‘결정적 예측’을 추구하는 것을 포기하고, 오로지 ‘확률적 예측’만 추구하라는 매우 ‘겸손한’ 입장을 요구하고 있는 것이다. 그러나 그런 한계가 있더라도, 또 그것이 영원히 이루어질 수 없는 ‘희망’으로만 남는다 하더라도, 물리학의 궁극적인 목표는 정신세계를 포함한 물질세계의 모든 현상을 이해하는 것이다.

아인슈타인이 대중과 나눈 대화를 보면, 인간의 한계가 잘 이해된다.

Q : “선생님은 누구보다 많은 것을 알고 계신데, 왜 아직도 공부를 계속하십니까?”

A : “내가 아는 것들은 어떤 원둘레 안에 들어 있는 지식이라 할 수 있습니다. 그러나 더 많이 알게 될수록 원의 경계도 더 늘어납니다. 따라서 많이 알면 알수록 모르는 것도 더 많아진다고 할 수 있지요.”

물리학과 수학

자연과학의 기초가 되는 물리학의 발전은 수학의 발전을 통해 이루어져 왔다. 인간이 물질세계를 이해하려고 노력하면서부터 깨닫게 된 흥미로운 사실은, 자연세계를 기술하거나 이해하는 데 수학이라는 학문이 매우 유용하다는 점이었다. 학문적 입장에서 수학은 자연과학처럼 보이기도 하고, 인문과학처럼 보이기도 한다.

수학을 자연과학의 일부로 보는 견해는 아마도 자연세계를 기술하는 언어로 수학을 사용하기 때문일 것이다. 그러나 수학은 ‘논리’ 만으로 이루어진 학문으로, 물질세계와는 특별한 관련이 없다. 그런데도 불구하고 우리가 깨달은 놀라운 사실은, ‘순전히 논리적인’ 수학이 이상할 정도로 물질세계와 밀접한 관련을 맺고 있다는 점이다. 그러므로 물리학을 공부하기 위해서는 기초적인 수학 지식이 반드시 필요하다.

“물리학에서 수학은 의미를 전달하는 언어 수단이다.”

따라서 수학적 방법을 통하지 않고 물리학을 공부할 수는 없다. 그러나 수학을 모른다고 해서 물질세계의 진리를 이해할 수 없다는 뜻은 아니다. 우리가 깨달은 과학적 진리들은 물론 수학적 방법을 통해 얻었지만, 수학을 모르더라도 우리는 오묘한 자연세계의 진리들을 이해하고 감탄할 수 있다. 예컨대, 아인슈타인의 일반상대성이론에 사용되는 복잡한 수학을 이해하지는 못해도 비유를 통해 우주가 어떻게 생겼는지는 상상할 수 있다.

그림 1-3 물리학과 수학의 관계

